

## Comunicação

# Susceptibilidade de espécies de plantas com potencial de fitorremediação do herbicida sulfentrazone<sup>1</sup>

João Carlos Madalão<sup>2</sup>, Fábio Ribeiro Pires<sup>3</sup>, Alberto Cargnelutti Filho<sup>4</sup>, Alex Favaro Nascimento<sup>5</sup>,  
Krishthiano Chagas<sup>5</sup>, Rodrigo Silva Araújo<sup>5</sup>, Sergio de Oliveira Procópio<sup>6</sup>, Robson Bonomo<sup>3</sup>

## RESUMO

Dentre as novas tecnologias, a fitorremediação é opção para a descontaminação de áreas que receberam intensas aplicações de herbicidas. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de selecionar espécies com potencial para a fitorremediação de solos contaminados com o herbicida sulfentrazone. As espécies testadas foram: *Calopogonium mucunoides*, híbrido de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*), *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Stizolobium deeringianum* e *Stizolobium aterrimum*, cultivadas em cinco doses do sulfentrazone (0, 200, 400, 800 e 1.600 g ha<sup>-1</sup>). O experimento foi instalado em casa de vegetação, utilizando-se vasos com capacidade para 6 L, preenchidos com amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm. Foram avaliadas a fitotoxicidade do herbicida, a altura de plantas e a massa de matéria seca da parte aérea e de raízes. As espécies que manifestaram os menores sintomas de fitotoxicidade e os maiores índices de altura e matéria fresca e seca foram *C. juncea*, *C. ensiformis* e *D. lablab*, sendo selecionadas como tolerantes ao herbicida sulfentrazone e com potencial para fitorremediação.

**Palavras-chave:** biorremediação, descontaminação do solo, adubos verdes, bioensaio.

## ABSTRACT

### Selection of plants tolerant to sulfentrazone and potential for phytoremediation

Among the new technologies, phytoremediation is considered as an option for the decontamination of areas that have undergone intense herbicide applications. This work aimed to select species with potential to the phytoremediation of soils contaminated with the herbicide sulfentrazone. The tested species were *Calopogonium mucunoides*, hybrid Sorghum (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*), *Crotalaria breviflora*, *Crotalaria juncea*, *Canavalia ensiformis*, *Dolichos lablab*, *Stizolobium deeringianum* e *Stizolobium aterrimum*. The experiment was conducted in a greenhouse, using 6 dm<sup>3</sup> vases filled with soil samples collected at a depth of 20 cm. The experimental design was the randomized blocks in a factorial scheme of 8 x 5, with four repetitions, which were composed by the eight plant species, and five doses of sulfentrazone (0, 200, 400, 800 and 1,600g ha<sup>-1</sup>). We evaluated the phytotoxicity of the herbicide, plant height and dry weight of shoots and roots. The species showing the least symptoms of phytotoxicity and the highest rates of height and fresh and dry biomass were *C. juncea*, *C. ensiformis* and *D. lablab*, which were selected as tolerant to the herbicide sulfentrazone and with potential for phytoremediation.

**Key words:** bioremediation, soil decontamination, green manure, bioassay.

Recebido para publicação em 30/12/2011 e aprovado em 14/11/2012.

<sup>1</sup>Financiado pelo CNPq. Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.

<sup>2</sup>Engenheiro-Agrônomo, Mestre. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs, Campos UFV, s/n, 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. joaocarlosagr@hotmail.com (autor correspondente).

<sup>3</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, 29932-540, São Mateus, Espírito Santo, Brasil. fabiopires@ceunes.ufes.br; robson.bonomo@gmail.com

<sup>4</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Campus Camobi, Avenida Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

<sup>5</sup>Engenheiro-Agrônomo. Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, 29932-540, São Mateus, Espírito Santo, Brasil. alexfn18@hotmail.com; krishthianoc@gmail.com; rodrigozuel@gmail.com

<sup>6</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor. Embrapa Soja, Rod. Carlos João Strass s/n, Warta, 86001-970, Londrina, Paraná, Brasil. procopio@cpac.embrapa.br

## INTRODUÇÃO

Herbicidas que permanecem no solo por longos períodos são insumos importantes para a garantia da produtividade das culturas comerciais, principalmente para aquelas que apresentam extenso período total de prevenção da interferência das plantas daninhas (PTPI). Contudo, após o término do PTPI, que muitas vezes coincide com o fechamento do dossel do cultivo agrícola, a presença do herbicida no solo pode se tornar indesejável, podendo resultar em efeito residual (Belo *et al.*, 2007; Dan *et al.*, 2011), contaminação de mananciais de água subterrânea pela lixiviação e, ou, escoamento superficial (Barra *et al.*, 1999, Palma *et al.*, 2004; Krutz *et al.*, 2005), toxicidade a organismos não alvos (Rousseaux *et al.*, 2003), podendo, até, dependendo da recalcitrância do composto, acumular-se na cadeia alimentar (Edwards, 1973).

O sulfentrazone, (N - [2,4-dicloro-5- [4-(difluorometil)-4,5- dihidro-3 metil -5-oxo- 1H - 1,2,4-triazol -1- il] metanosulfonamida), do grupo químico aril triazolinonas, é um herbicida desenvolvido para aplicação preferencialmente em pré-emergência, controlando várias espécies de plantas daninhas infestantes, mono e dicotiledôneas, das culturas da cana-de-açúcar e soja, além do seu uso em pátios industriais (Rodrigues & Almeida, 1998). Além de persistente (Melo *et al.*, 2010; Monquero *et al.*, 2010), o sulfentrazone é classificado como móvel e tem alto potencial de lixiviação, tanto vertical (para água subterrânea), quanto horizontal (Parafba *et al.*, 2003; Martinez *et al.*, 2008), principalmente por sua baixa afinidade pela matéria orgânica ( $K_{oc} = 43$ ).

Buscando soluções para reduzir o potencial de contaminação do solo e dos recursos hídricos com sulfentrazone, tem-se pesquisado a efetividade da fitorremediação, técnica que utiliza plantas como agente de descontaminação. Após extrair o contaminante do solo, a planta armazena-o para tratamento subsequente, quando necessário, ou mesmo metaboliza-o, podendo, em alguns casos, transformá-lo em produtos menos tóxicos ou mesmo inócuos (Pires *et al.*, 2003a).

Outra possibilidade para tolerar e fitorremediar herbicidas é a rizodegradação, que significa a liberação de exsudatos e enzimas pelas raízes das plantas, que incrementam as transformações bioquímicas e, ou, a mineralização dos poluentes, em razão do estímulo à atividade microbiana na rizosfera e da associação com fungos micorrízicos, sendo, também, conhecida por fitoestimulação (Cunningham *et al.*, 1996; Wilson *et al.*, 2000).

Para se averiguar o potencial remediador de determinada espécie vegetal, deve-se conhecer, inicialmente, sua seletividade em relação à molécula em questão. Com relação a herbicidas, diversos trabalhos têm sido realizados no Brasil com o objetivo de selecionar plantas fitorremedia-

doras. As espécies identificadas como tolerantes, e com potencial para utilização em programas de fitorremediação de solos contaminados com o tebutiuron, foram *Canavalia ensiformis* e *Lupinus albus* (Pires *et al.*, 2006); ao herbicida trifloxysulfuron sodium, as espécies *Mucuna aterrima* e *Canavalia ensiformis* (Santos *et al.*, 2004a); e *Eleusine coracana* remediou solos contaminados com o herbicida picloram (Procópio *et al.*, 2008).

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a sensibilidade de oito espécies de plantas ao sulfentrazone, para posterior utilização em programas de fitorremediação de solos contaminados com esse herbicida.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste experimento, foram avaliadas diferentes espécies de plantas, com potencial para serem utilizadas em programas de fitorremediação de sulfentrazone, previamente selecionadas a partir de informações relatadas, na literatura, sobre espécies tolerantes ao herbicida e, ou, espécies anteriormente relatadas como fitorremediadoras de outras moléculas herbicidas. Além da característica principal, a tolerância, foram preferencialmente testadas espécies de valor agrícola/econômico, visando a promover um duplo benefício: a fitorremediação, primeiramente, e seu posterior aproveitamento na agricultura ou pecuária, dependendo do grau de detoxificação promovido pela planta testada. As espécies testadas foram: calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), cover crop [híbrido de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*)], crotalaria breviflora (*Crotalaria breviflora*), crotalaria júncea (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), lab-labe (*Dolichos lablab*), mucuna-anã (*Stizolobium deeringianum*) e mucuna-preta (*Stizolobium aeterrimum*).

O experimento foi instalado em casa de vegetação, localizada no campus do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado em São Mateus, ES. Vasos com capacidade para 6 L foram preenchidos com solo coletado na profundidade de 0-20 cm, classificado como Argissolo Amarelo (Embrapa, 2006), característico da região, peneirado em malha de 0,004 m e, posteriormente, analisado química e fisicamente (Tabela 1).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial (8 x 5), com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação das oito espécies vegetais, citadas anteriormente, quatro doses do sulfentrazone (200, 400, 800 e 1.600 g ha<sup>-1</sup>) e um tratamento sem herbicida, totalizando 40 tratamentos.

Após o preenchimento dos vasos, foi realizada adubação de plantio, com base na análise química do solo,

aplicando-se o equivalente a 400 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16. Para esta etapa, o adubo foi diluído em água, sem a necessidade de revolver o solo. O herbicida sulfentrazone foi aplicado em pré-emergência, utilizando-se pulverizador pressurizado com CO<sub>2</sub>, regulado para aplicar volume de calda equivalente a 200 L ha<sup>-1</sup>. Após 20 dias da aplicação do herbicida, foi realizada a semeadura das espécies vegetais. Após a emergência das plantas, foi feito desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. Todos os vasos foram irrigados três vezes ao dia, para a manutenção da umidade do solo.

Foram realizadas as seguintes avaliações: altura de plantas (cm), aos 30 e 60 dias após a semeadura (DAS), tomando-se como base para medição o meristema apical nas dicotiledôneas e a extremidade da folha mais alta nas demais espécies; toxicidade, avaliada visualmente (%), aos 30 e 60 DAS, atribuindo-se notas de acordo com os sintomas de intoxicação na parte aérea das plantas, utilizando-se escala de 0 a 100, para ausência de sintomas e morte das plantas, respectivamente, executada por três avaliadores, dos quais se obteve a média; massa da matéria seca das raízes (g) e massa da matéria seca da parte aérea (g) aos 60 DAS, efetuando-se a secagem do material colhido, em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 °C), até massa constante. Para viabilizar a comparação entre diferentes espécies, que apresentam potencial morfológico intrínseco, os dados de altura e massa foram transformados em um índice em relação às médias obtidas pela respectiva testemunha de cada espécie, dentro de cada dose, que recebeu valor igual a 1 (um).

Após a coleta e tabulação dos dados, foram eles submetidos à análise de variância e ao teste F, a 5% de significância. O efeito de doses do sulfentrazone foi estudado por meio de regressão. A escolha do modelo para cada variável baseou-se na significância dos parâmetros e nos valores do R<sup>2</sup> (Alvarez & Alvarez, 2006). Empregaram-se para análise dos dados os programas SAEG (2007) e Sigma Plot (2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se os resultados apresentados na Figura 1, observa-se, na primeira avaliação, realizada aos 30 DAS,

na dose de 200 g ha<sup>-1</sup>, que *C. ensiformis* e *C. juncea* foram as espécies mais tolerantes ao sulfentrazone, exibindo sintomas menos acentuados de fitotoxicidade. A espécie mais sensível ao sulfentrazone foi o híbrido *S. bicolor* x *S. sudanense*, pois a aplicação de apenas ¼ (200 g ha<sup>-1</sup>) da dose comercial foi suficiente para impedir completamente sua emergência, todavia, não diferindo, estatisticamente, do tratamento em que se semeou *S. aterrimum*. Nesta dose, ainda, observou-se que as demais espécies apresentaram sintomas de fitotoxicidade acima de 60%. Na dose de 400 g ha<sup>-1</sup>, *C. ensiformis* e *C. juncea* foram novamente as espécies mais tolerantes ao herbicida, porém, já apresentando sintomas de toxicidade superiores a 50%.

Com a aplicação da dose de sulfentrazone, que corresponde àquela geralmente recomendada a campo (800 g ha<sup>-1</sup>), os sintomas de fitotoxicidade das espécies *C. ensiformis* e *C. breviflora* ficaram em torno de 70 a 75%, enquanto os de *C. juncea* e *D. lablab*, 80 a 87%. As demais espécies foram muito susceptíveis à presença do sulfentrazone no solo, neste nível de contaminação. Quando se aplicou a maior dose (1.600 g ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone), os sintomas de injúrias em *C. ensiformis* e *D. lablab* foram menores, em relação aos das demais espécies avaliadas. Contudo, os níveis de intoxicação foram muito elevados.

Na segunda avaliação, realizada aos 60 DAS (Figura 2), pôde-se observar que algumas espécies recuperaram-se significativamente, em relação aos sintomas de fitotoxicidade, quando foram aplicados 200 g ha<sup>-1</sup> de sulfentrazone, semelhantemente aos resultados obtidos por Pires *et al.* (2003c), em relação à espécie *Pennisetum typhoides*, cultivada em solos contaminados com tebutiuron.

Na avaliação realizada aos 30 DAS, observou-se 60% de fitotoxicidade, aproximadamente, em *C. mucunoides* e, na avaliação realizada 60 DAS, esses sintomas foram reduzidos para 30%. No entanto, nas doses seguintes (400 g ha<sup>-1</sup>, 800 g ha<sup>-1</sup> e 1.600 g ha<sup>-1</sup>), nenhuma planta dessa espécie sobreviveu à atividade do herbicida no solo. Outra espécie que também se recuperou consideravelmente, mas apenas na dose de 200 g ha<sup>-1</sup>, foi *C. breviflora*, passando de aproximadamente 65% de fitotoxicidade, na pri-

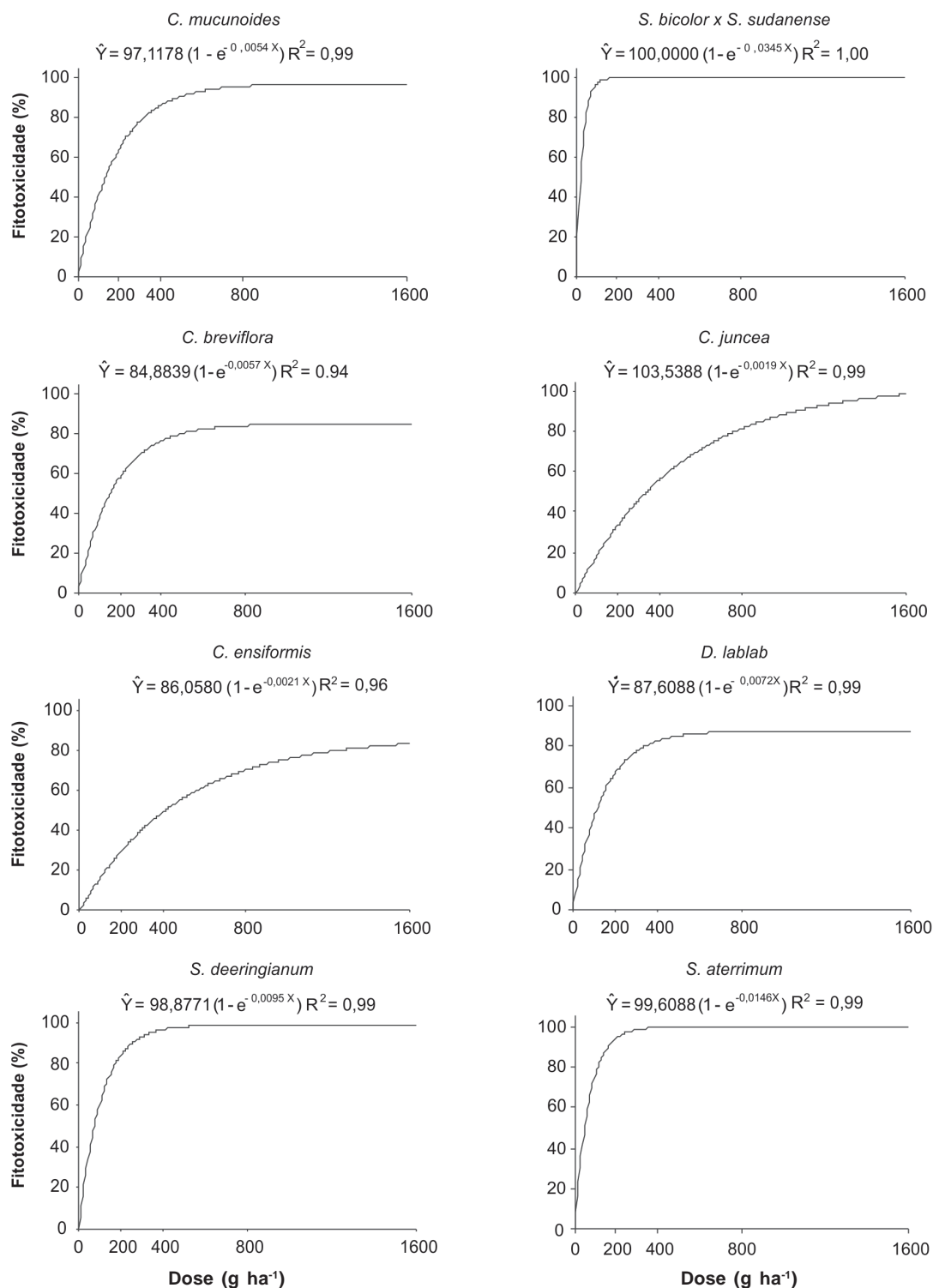
**Tabela 1.** Composição físico-química da camada arável (0-20 cm) do solo utilizado no experimento

Análise Granulométrica g kg <sup>-1</sup>									
Argila		Silte		Areia		Classificação Textural			
220		30		750		Franco argilo-arenoso			
Análise Química									
pH	P	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	CTC	V	C
H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	g kg <sup>-1</sup>
5,4	3,0	0,18	1,8	1,0	2,6	0,1	5,6	53,9	22,8

meira avaliação, para 45%, na segunda. A espécie *C. juncea* recuperou-se, claramente, nas doses de 200 e 400 g ha<sup>-1</sup>, mas nas doses de 800 e 1.600 g ha<sup>-1</sup> não houve sinais significativos de tolerância. *C. ensiformis* recuperou-se apenas na dose de 200 g ha<sup>-1</sup>; na dose de 400 g ha<sup>-1</sup> manteve-se com os mesmos sinais de toxicidade da primeira avaliação, enquanto, nas doses de 800 e 1.600 g ha<sup>-1</sup>, os

sintomas de intoxicação, nessa espécie, devidos à presença do sulfentrazone, foram muito altos.

*D. lablab* recuperou-se até a dose de 800 g ha<sup>-1</sup>, sendo que, nas doses de 200 e 400 g ha<sup>-1</sup>, verificou-se cerca de 30% de toxicidade, o que pode ser considerado aceitável, do ponto de vista agrônomo, para fitorremediação. Nos trabalhos realizados por Belo *et al.* (2011)



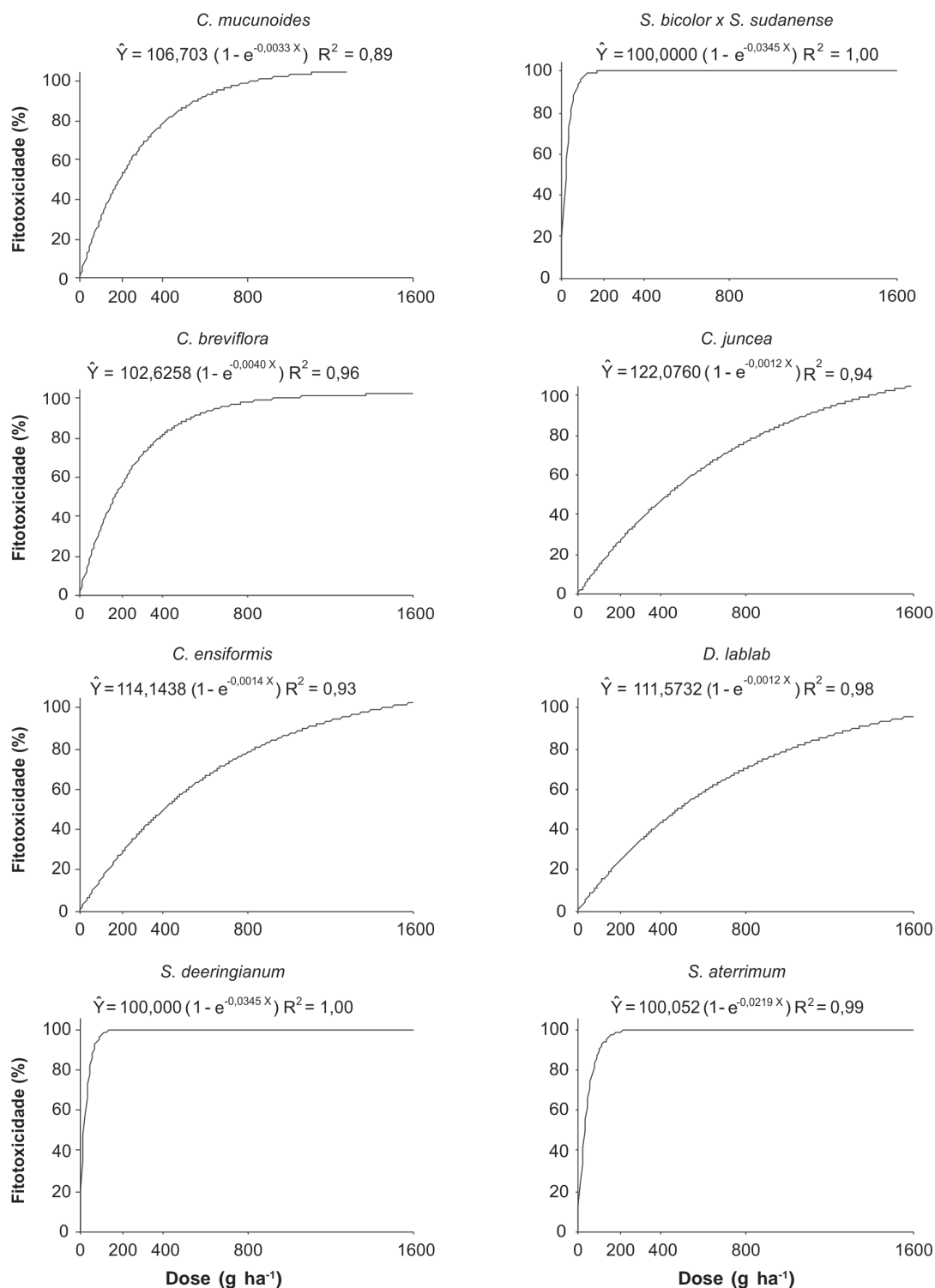
**Figura 1.** Sintomas de fitotoxicidade das plantas (%), aos 30 dias após a semeadura, em função da dose do herbicida sulfentrazone.

e Morais *et al.* (2007), *D. lablab* também foi tolerante ao sulfentrazone.

Quando foi realizada a segunda avaliação, verificou-se que a dose mais baixa do herbicida foi suficiente para eliminar todas as plantas das espécies *S. deeringianum* e *S. aterrimum*. Pires *et al.* (2003b,c) selecionaram *S. aterrimum*, como uma das espécies tolerantes ao herbicida

tebuthiuron, enquanto Procópio *et al.* (2004) e Santos *et al.* (2004b) descreveram essa espécie como tolerante ao herbicida trifloxysulfuron sodium, resultados que não se confirmaram em relação ao sulfentrazone.

Observando-se as médias alcançadas, pelas plantas, na avaliação de altura, fica claro que tanto aos 30, como aos 60 DAS, todas as doses causaram redução do cresci-

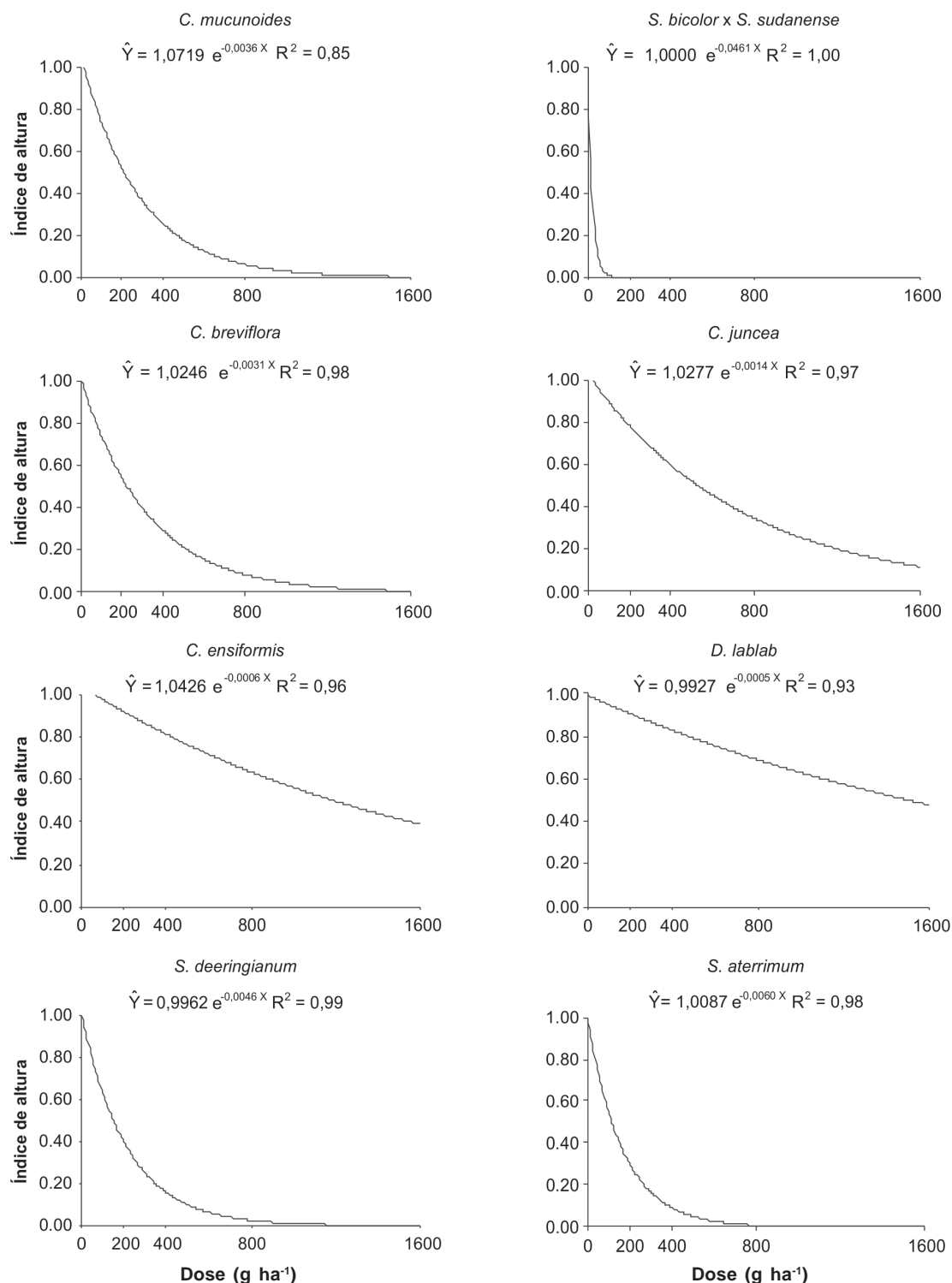


**Figura 2.** Sintomas de fitotoxicidade das plantas (%), aos 60 dias após a semeadura, em função da dose do herbicida sulfentrazone

mento, em relação ao da testemunha sem herbicida (Figuras 3 e 4). *C. ensiformis* e *D. lablab* também foram as espécies que mais se destacaram, em relação a essa avaliação, pois, na dose de 200 g ha<sup>-1</sup>, aos 30 DAS, tiveram pouca redução de porte. A partir dessa dose, observa-se comportamento decrescente na altura dessas duas espécies, chegando-se à dose de 1.600 g ha<sup>-1</sup>, com cerca de

42% da altura das plantas que cresceram em solo livre da presença do sulfentrazone.

Na segunda avaliação, feita aos 60 DAS (Figura 4), percebe-se que a redução da altura das plantas, com o aumento das doses de sulfentrazone, foi mais gradual, evidenciando seu efeito herbicida menos intenso na arquitetura das plantas. Nessa avaliação, percebe-se que

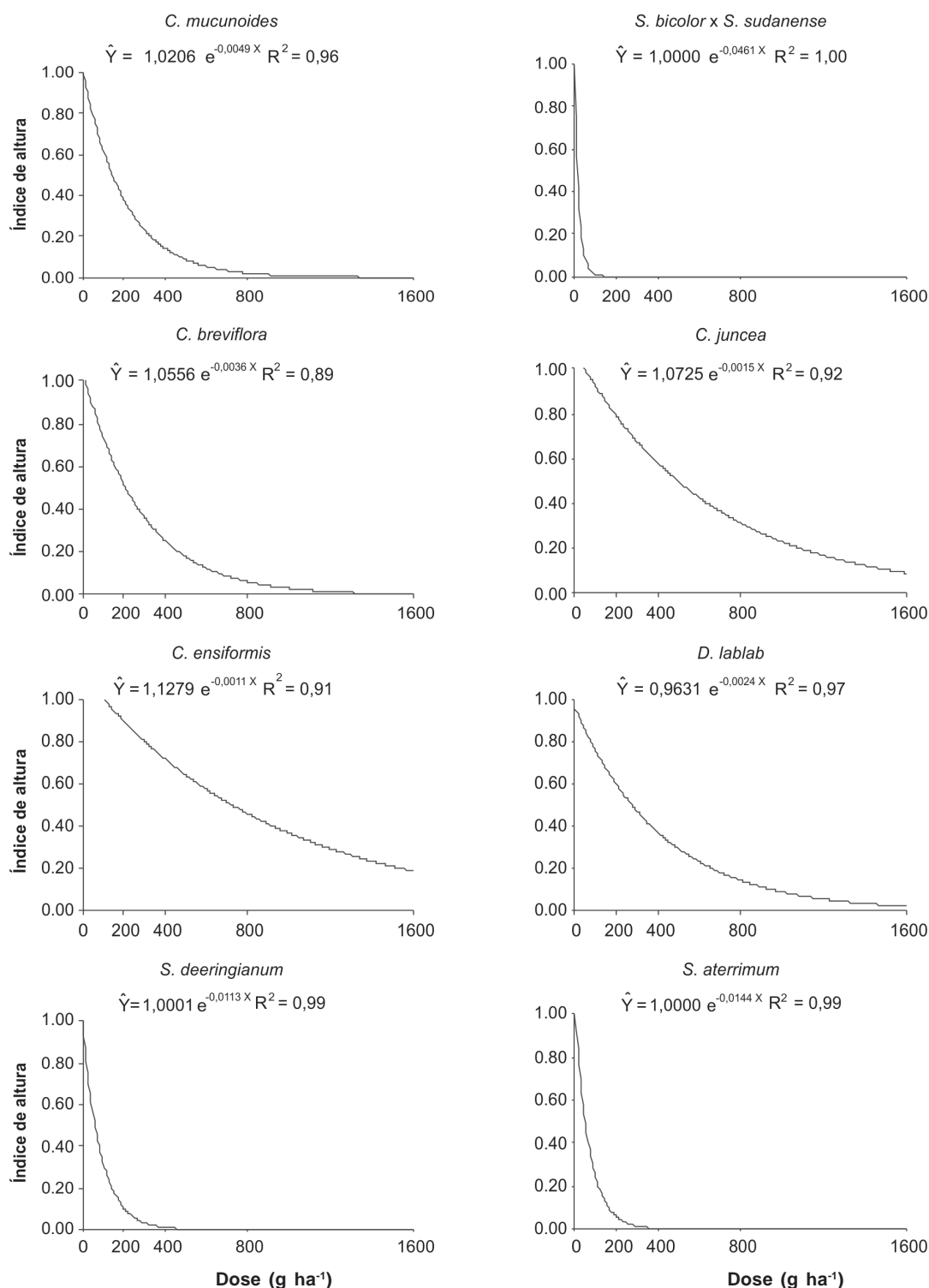


**Figura 3.** Índice de altura de plantas, aos 30 dias após a semeadura, em função da dose do herbicida sulfentrazone.



*C. ensiformis* foi a espécie que teve a menor redução de altura, contrariamente a das espécies *S. deeringianum* e *S. aterrimum*, que tiveram maiores reduções no porte. Dentre as espécies avaliadas, constata-se que o híbrido *S. bicolor* x *S. sudanense* não emergiu, mesmo no menor nível de contaminação do sulfentrazone no solo. Em trabalho realizado por Procópio *et al.*, (2004), no qual avalia-

ram espécies para fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium, as espécies *C. juncea*, *D. lablab*, *Mucuna deeringiana* e *Stylosantes guianensis* obtiveram aumento da altura com o decorrer do tempo de avaliação. Neste trabalho, não há comportamento padrão para altura, mas percebe-se a redução do porte das plantas, o que se deve à maior toxicidade do sulfentrazone, compa-

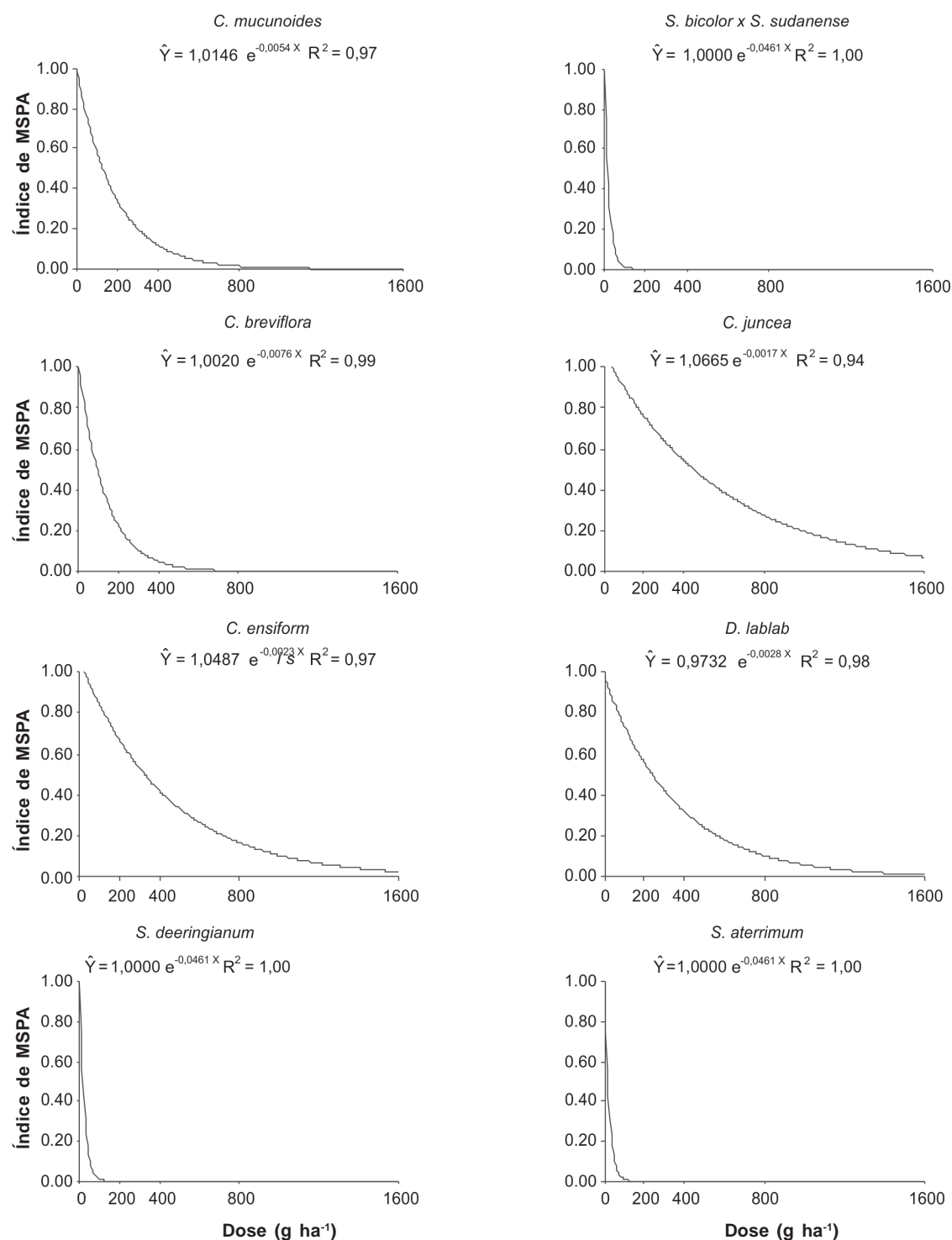


**Figura 4.** Índice de altura de plantas, aos 60 dias após a semeadura, em função da dose do herbicida sulfentrazone.

rativamente, por exemplo, ao efeito que é observado para a molécula trifloxyssulfurom sodium.

Os resultados obtidos nas avaliações de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca de raízes (MSR) são apresentados nas Figuras 5 e 6. O acúmulo de massa constitui uma característica importante para espécies fitorremediadoras, pois, normalmente, correlaciona-se a

maior capacidade de absorção do herbicida pelas raízes (Newman *et al.*, 1998) e maior acúmulo e, ou, degradação, na parte aérea. De modo geral, até a dose de 400 g ha<sup>-1</sup>, nota-se nas espécies *C. juncea*, *C. ensiformis* e *D. lablab* os menores níveis de redução no acúmulo de massa, indicando potencial de utilização dessas espécies em programas de fitorremediação para sulfentrazone.

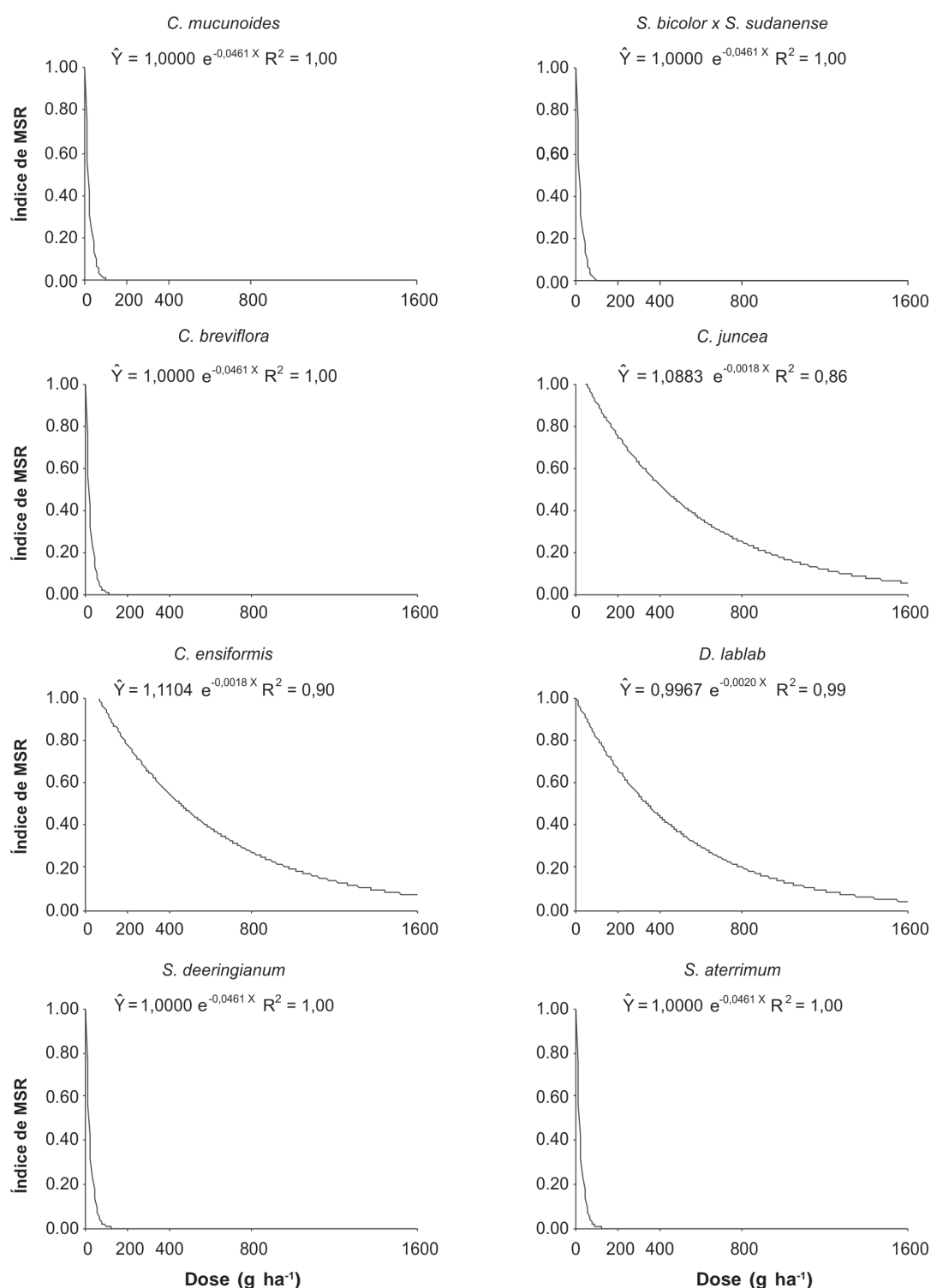


**Figura 5.** Índice de matéria seca da parte aérea das plantas (MSPA), aos 60 dias após a semeadura, em função da dose do herbicida sulfentrazone.



Os resultados indicam que a maioria das espécies é susceptível ao sulfentrazone e que, em doses acima de 800 g ha<sup>-1</sup>, elimina-se a quase totalidade das plantas das espécies avaliadas. Isso indica que o tempo de condução das plantas foi suficiente para se inferir sobre sua tolerância, quanto à presença do sulfentrazone no solo, e sua potencialidade, quanto a estudos

futuros de fitorremediação. As doses de 200 e 400 g ha<sup>-1</sup> representam parâmetros para se inferir sobre a tolerância dessas espécies, já que, normalmente, no solo, decorrido algum tempo após a aplicação do herbicida, as quantidades encontradas são inferiores ao total aplicado, o que também foi observado por Procópio *et al.*, (2008).



**Figura 6.** Índice de matéria seca de raízes (MSR), aos 60 dias após a semeadura, em função da dose do herbicida sulfentrazone.

Alguns adubos verdes também exibiram melhor desempenho em trabalhos, anteriores, realizados com o propósito de selecionar espécies para programas de fitorremediação de herbicidas. *C. ensiformis*, cujo desempenho foi promissor, também foi uma das espécies selecionadas por Pires *et al.* (2003b, c), como planta tolerante ao herbicida tebuthiuron, e, também, selecionada por Procópio *et al.* (2004) e Santos *et al.* (2004b), como tolerante ao herbicida trifloxysulfuron sodium. Para estudos de fitorremediação com o herbicida picloram, *Panicum maximum* cv Tanzânia e *Eleusine coracana* foram selecionados por Carmo *et al.*, (2008). Já Belo *et al.* (2011), em trabalho preliminar, um dos raros na literatura referenciando o sulfentrazone, descrevem as espécies *Helianthus annuus* e *D. lablab* como potencialmente fitorremediadoras de solos contaminados com esse herbicida. Todos esses trabalhos evidenciaram que as espécies que toleraram os herbicidas no solo, também tiveram, posteriormente, desempenho satisfatório como fitorremediadoras. Assim, em etapas subsequentes, as espécies selecionadas neste trabalho serão submetidas a avaliações quanto à capacidade de extrair o sulfentrazone do solo, em níveis que permitam introduzir culturas susceptíveis, de interesse econômico, em sucessão.

## CONCLUSÕES

Nas condições ambientais em que o experimento foi conduzido, dentre as espécies avaliadas, *D. lablab*, *C. ensiformis* e *C. juncea* apresentaram os menores sintomas de fitotoxicidade, além de maiores valores de altura de plantas e de acúmulo de matéria seca, tanto na parte aérea como nas raízes, em relação ao tratamento testemunha.

O *D. lablab*, *C. ensiformis* e *C. juncea* têm potencial para serem avaliadas quanto à capacidade de fitorremediar o sulfentrazone, principalmente em solos contaminados com até 400 g ha<sup>-1</sup>.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo financiamento e pelas Bolsas concedidas.

## REFERÊNCIAS

- Alvarez V VH & Alvarez GAM (2006) Comparações de médias ou testes de hipóteses? Contrastes! Boletim Informativo da SBCS, 31:24-34.
- Barra R, Maffioli G, Notarianni V, Mazzuchelli P & Vighi M (1999) Patrones de contaminación por herbicidas en aguas superficiales en una cuenca agrícola. *Ecotoxicology Environmental Restoration*, 2:75-83.
- Belo AF, Santos EA, Santos JB, Ferreira LR, Silva AA, Cecon PR & Silva LL (2007) Fitorremediação de solo adubado com composto orgânico e contaminado com trifloxysulfuron-sodium. *Planta Daninha*, 25:251-258.
- Belo AF, Coelho ATP, Ferreira LR, Silva AA & Santos JB (2011) Potencial de espécies vegetais na remediação de solo contaminado com sulfentrazone. *Planta Daninha*, 29:821-828.
- Carmo ML, Procópio SO, Pires FR, Cargnelutti Filho A, Barroso ALL, Silva GP, Carmo EL, Braz GBP, Silva WFP, Braz AJBP & Pacheco LP (2008) Seleção de plantas para fitorremediação de solos contaminados com picloram. *Planta Daninha*, 26:301-313.
- Cunningham SD, Anderson TA & Schwab AP (1996) Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Advances in Agronomy*, 56:55-114.
- Dan HA, Dan LGM, Barroso ALL, Procópio SO, Oliveira Junior RS, Assis RL, Silva AG & Feldkircher C (2011) Atividade residual de herbicidas pré-emergentes aplicados na cultura da soja sobre o milho cultivado em sucessão. *Planta Daninha*, 29:437-445.
- Edwards CA (1973) *Persistent pesticides in the environment*. 2ª ed. Cleveland, CRC Press. 170p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa -SPI. 306p.
- Krutz LJ, Senseman SA, Zablotowicz RM & Matocha MA (2005) Reducing herbicide runoff from agricultural fields with vegetative filter strips: a review. *Weed Science*, 53:353-367.
- Martinez CO, Silva CMMS, Fay EF, Maia AHN, Abakerli RB & Durrant LR (2008) Degradation of the herbicide sulfentrazone in a Brazilian Typic Hapludox soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 40:879-888.
- Melo CAD, Medeiros WN, Tuffi Santos LD, Ferreira FA, Ferreira GL, Paes FASV & Reis MR (2010) Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. *Planta Daninha*, 28:835-842.
- Monquero PA, Silva PV, Silva Hirata AC, Tablas DC & Orzari I (2010) Lixiviação e persistência dos herbicidas sulfentrazone e imazapic. *Planta Daninha*, 28:185-195.
- Morais RBS, Braga JPL, Ortega EMM & Victoria Filho R (2007) Seleção de plantas para fitorremediação do sulfentrazone na utilização como adubo verde em sucessão a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Disponível em: <<http://www.usp.br/siicusp/Resumos/15Siicusp/5039.pdf>>. Acessado em: 16 de agosto de 2011.
- Newman LA, Doty SL, Gery KL, Heilman PE, Muiznieks I, Shang QT, Siemieniec ST, Strand SE, Wang X, Wilson AM & Gordon MP (1998) Phytoremediation of organic contaminants: a review of phytoremediation research at the University of Washington. *Journal of Soil Contaminant*, 7:531-542.
- Palma G, Sanchez A, Olave Y, Encina F, Palma R & Barra R (2004) Pesticides levels in surface waters in an agricultural-forestry basin in Southern Chile. *Chemosphere*, 57:763-770.
- Paraíba LC, Cerdeira AL, Silva EF, Martins JS & Coutinho HLC (2003) Evaluation of soil temperature effect on the herbicide leaching potential into groundwater in the Brazilian cerrado. *Chemosphere*, 53:1087-1095.
- Pires FR, Procópio SO, Souza CM, Santos JB & Silva GP (2006) Adubos verdes na fitorremediação de solos contaminados com o herbicida tebuthiuron. *Caatinga*, 19:92-97.
- Pires FR, Souza CM, Silva AA, Procópio SO, Cecon PR, Santos JB & Santos EA (2003a) Seleção de plantas tolerantes ao tebuthiuron e com potencial para fitorremediação. *Revista Ceres*, 50:583-594.

- Pires FR, Souza CM, Silva AA, Procópio SO & Ferreira LR (2003b) Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta Daninha*, 21:335-34.
- Pires FR, Souza CM, Silva AA, Procópio SO, Cecon PR, Santos JB & Santos EA (2003c) Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de tebuthiuron. *Planta Daninha*, 21:451-458.
- Procópio SO, Santos JB, Silva AA, Pires FR, Ribeiro Júnior JI, Santos EA & Ferreira LR (2004) Seleção de plantas com potencial para fitorremediação de solos contaminados com o herbicida trifloxysulfuron sodium. *Planta Daninha*, 22:315-322.
- Procópio SO, Carmo ML, Pires FR, Cargnelutti Filho A, Braz GBP, Silva WFP, Barroso ALL, Silva GP, Carmo EL & Braz AJBP (2008) Fitorremediação de solo contaminado com picloram por capim-pé-de-galinha-gigante (*Eleusine coracana*). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2517-2523.
- Rodrigues BN & Almeida FS (1998) Guia de herbicidas. 4ª ed. Londrina, Edição dos Autores. 648p.
- Rousseaux S, Hartmann A, Rouard N & Soulas GA (2003) Simplified procedure for terminal restriction fragment length polymorphism analysis of the soil bacterial community to study the effects of pesticides on the soil microflora using 4,6-dinitroorthocresol as test case. *Biology and Fertility of Soils*, 37:250-254.
- Santos JB, Procópio SO, Silva AA, Pires FR, Ribeiro Júnior JI, Santos EA & Ferreira LR (2004a) Fitorremediação do herbicida trifloxysulfuron sodium. *Planta Daninha*, 22:223-330.
- Santos JB, Procópio SO, Silva AA, Pires FR, Ribeiro Júnior JI & Santos EA (2004b) Seletividade do herbicida trifloxysulfuron sodium para fins de fitorremediação. *Revista Ceres*, 51:129-141.
- Sigma Plot (2008) For windows, version 10.0 Systat Software.
- Sistema para Análises Estatísticas – SAEG (2007), Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV: Viçosa.
- Wilson PC, Whitwell T & Klaine SJ (2000) Phytotoxicity, uptake, and distribution of <sup>14</sup>C-simazine in *Acorus gramineus* and *Pontederia cordata*. *Weed Science*, 48:701-709.